Chapitre 14

Énergie cinétique et travail d'une force

1. Travail d'une force

Le travail d'une force exercée sur un système correspond à un transfert d'énergie entre un système et le milieu extérieur.

1.1 - Travail d'une force constante

Le travail $\mathcal{W}_{AB}(\vec{F})$ d'une force constante $\vec{F}$ exercée sur un système lors du déplacement du point matériel modélisant ce système d'un point A à un point B est défini par le produit scalaire des vecteurs $\vec{F}$ et $\overrightarrow{AB}$.

$$\mathcal{W}_{AB}(\vec{F}) = \vec{F} \cdot \overrightarrow{AB}$$

soit $\mathcal{W}_{AB}(\vec{F}) = F \times AB \times \cos\alpha$

Unités du Système international :

F en newton (N) ;

AB en mètre (m) ;

α l'angle $(\vec{F}, \overrightarrow{AB})$, en degré (°) ou en radian (rad) ;

$\mathcal{W}$ en joule (J).

Le travail $\mathfrak{W}_{AB}(\vec{F})$ d'une force constante $\vec{F}$ est indépendant du chemin suivi pour aller d'un point A à un point B.

Le travail est une grandeur algébrique. Il peut être positif, négatif ou nul suivant l'angle α entre les vecteurs $\vec{F}$ et $\overrightarrow{AB}$.

Si α est inférieur à 90 degrés, la force favorise le déplacement. Le travail est moteur. L'énergie transférée par le travail au système est positive et le système reçoit de l'énergie.

Si α est égal à 90 degrés, la force n'a pas d'effet. Le travail est nul. L'énergie transférée par le travail au système est nulle.

Si α est supérieur à 90 degrés et inférieur à 180 degrés, la force ne favorise pas le déplacement. Le travail est résistant. L'énergie transférée par le travail au système est négative. Le système perd de l'énergie.

1.2 - Travail du poids

Dans une région au voisinage de la Terre où le champ de pesanteur $\vec{g}$ est uniforme, le poids $\vec{P}$ d'un objet est une force constante. Le travail $\mathfrak{W}_{AB}(\vec{F})$ du poids d'un point matériel de masse m qui se déplace d'un point A à un point B a donc pour expression :

$$\mathfrak{W}_{AB}(\vec{P}) = \vec{P} \cdot \overrightarrow{AB} = m\vec{g} \cdot \overrightarrow{AB}$$

Dans le repère (O ; $\vec{i}$, $\vec{j}$, $\vec{k}$) associé au référentiel terrestre, tel que le vecteur $\vec{k}$ est vertical et orienté vers le haut, les coordonnées des vecteurs sont :

$\vec{g}\,(0\,;0\,;\,-g)$ et $\overrightarrow{AB}\,(x_B - x_A;\, y_B - y_A;\, z_B - z_A)$;

d'où $\mathcal{W}_{AB}(\vec{P}) = -mg(z_B - z_A)$.

Ainsi, le travail du poids $\vec{P}$ d'un point matériel de masse m qui se déplace d'un point A à un point B, dans un champ de pesanteur uniforme, a pour expression :

$$\mathcal{W}_{AB}(\vec{P}) = mg(z_B - z_A)$$

Unités du Système international :

m en kilogramme (kg) ;

g en newton par kilogramme ($N \cdot kg^{-1}$) ;

z_A et z_B en mètre (m) ;

$\mathcal{W}$ en joule (J).

2. Théorème de l'énergie cinétique

2.1- Énergie cinétique

L'énergie cinétique $\mathcal{E}_c$ d'un système modélisé par un point matériel de masse m et de vitesse de valeur v dans un référentiel d'étude est définie par la relation :

$$\mathcal{E}_c = \frac{1}{2}mv^2$$

Unités du Système international :

m en kilogramme (kg) ;

v en mètre par seconde ($\mathrm{m \cdot s^{-1}}$) ;

$\mathscr{E}_c$ en joule (J).

Remarque

Ce modèle de l'énergie cinétique s'applique pour des valeurs de vitesse du quotidien.

2.2 - Énoncé du théorème de l'énergie cinétique

Le transfert d'énergie par travail de toutes les forces appliquées à un système a une conséquence directe sur l'énergie cinétique du système. Ainsi, on peut énoncer le théorème de l'énergie cinétique.

Dans un référentiel galiléen, la variation d'énergie cinétique $\Delta\mathscr{E}_c$ d'un système modélisé par un point matériel de masse m entre deux positions A et B est égale à la somme des travaux des forces $\sum \mathscr{W}_{AB}(\vec{F})$ appliquées au solide entre les positions A et B :

$$\Delta\mathscr{E}_c = \mathscr{E}_c(B) - \mathscr{E}_c(A) = \sum \mathscr{W}_{AB}(\vec{F})$$

Remarque

Un référentiel galiléen est un référentiel dans lequel le principe de l'inertie s'applique. Pour des mouvements de courte durée, le référentiel terrestre est considéré comme un référentiel galiléen.

2.3 - Exemple de la chute libre

Un système en chute libre entre les points A et B n'est soumis qu'à son poids. D'après le théorème de l'énergie cinétique appliqué au point matériel modélisant ce système :

$$\mathcal{E}_c(B) - \mathcal{E}_c(A) = \mathcal{W}_{AB}(\vec{P}) \Rightarrow \frac{1}{2}mv_B^2 - \frac{1}{2}mv_A^2 = \mathcal{W}_{AB}(\vec{P})$$

avec $\mathcal{W}_{AB}(\vec{P}) = mg(z_A - z_B)$

S'il est lâché sans vitesse initiale, $v_A = 0\ \mathrm{m \cdot s^{-1}}$. On obtient alors :

$$v_B = \sqrt{2g(z_A - z_B)}$$

On conclut que la vitesse de chute ne dépend pas de la masse de l'objet en chute libre, résultat célèbre établi par Galilée.

Histoire des sciences

Galilée (1564-1642) étudie expérimentalement la chute des corps et arrive à la conclusion que la vitesse d'un objet lâché en chute libre est indépendante de sa masse. Il remet en cause des écoles anciennes comme les idées d'Aristote, qui affirmait que c'est dans la nature des objets lourds de tomber plus rapidement que les objets légers.